



Aktuelle Ergebnisse aus dem im HighTechMatBau geförderten BMBF-Forschungsvorhaben **R-Beton**

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit
Dipl.-Ing. Julia Scheidt

Förderkennzeichen 13N12119 bis 13N13125



Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen
Gottlieb-Daimler-Straße 60
67663 Kaiserslautern
Telefon 0631/205-3436
Telefax 0631/205-3101



Quelle: Scherer & Kohl

17.09.2016



Quelle: reinierdejong.files.wordpress.com/2010/11/beton.jpg

- Stoffströme
- Aufbereitung
- Charakterisierung der rezyklierten Gesteinskörnung

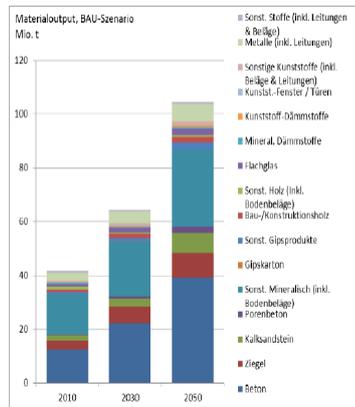


- Anforderungen an RC-Gesteinskörnung für Beton
- Handling

Ermittlung praxisrelevanter Stoffströme



Zukünftige Zusammensetzung von Bauschutt



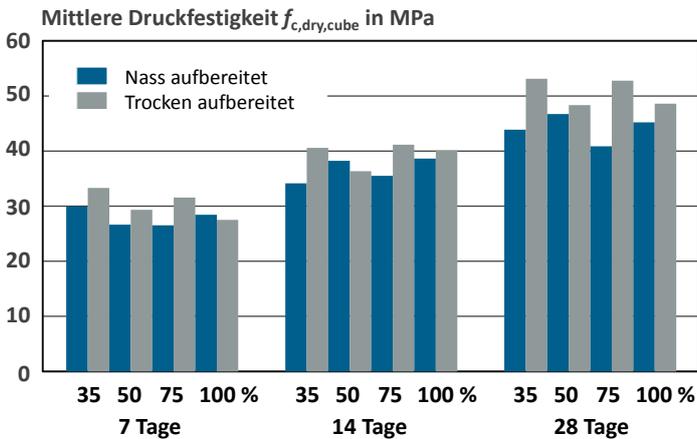
	Anteil am Output 2010 [%]	Anteil am Output 2030 [%]	Veränderung gegenüber 2010 [%]
Beton	29,3	34,4	81
Ziegel	8,4	9,7	79
Kalksandstein	4,9	4,8	51
Porenbeton	0,7	1,3	181
Sonst. Mineralisch (inkl. Bodenbeläge)	35,6	31,4	36
Gipskarton	0,1	0,1	116
Sonst. Gipsprodukte	1,6	2,0	90
Bau-/Konstruktionsholz	2,7	2,3	32
Sonst. Holz (inkl. Bodenbeläge)	2,2	0,9	-35
Flachglas	2,8	2,5	40
Mineral. Dämmstoffe	0,6	0,6	71
Kunststoff-Dämmstoffe	0,8	0,7	31
Kunststoff-Fenster / Türen	0,5	0,5	56
Sonstige Kunststoffe (inkl. Beläge & Leitungen)	0,8	1,0	76
Metalle (inkl. Leitungen)	7,3	6,8	43
Sonst. Stoffe (inkl. Leitungen & Beläge)	1,6	0,8	-18
Durchschnitt	100,0	100,0	54

Quelle: Deilmann, Krauß, Gruhler, Reichenbach 2014





Vergleichende Untersuchungen von nass und trocken aufbereiteter grober RC-Gesteinskörnung



- Nass Aufbereitung ist bei grober RC-Gesteinskörnung betontechnologisch nicht notwendig
- Festigkeiten bei trocken aufbereiteter RC-Gesteinskörnung tendenziell höher

Typ 2
Betonalter

Untersuchungen

- Stoffliche Zusammensetzung
- Sieblinie
- Kornform
- Rohdichte
- Verschleiß/ Zertrümmerung
- Frost
- Wasseraufnahme
- Umweltverträglichkeit
- Einstufung nach AKR-Richtlinie

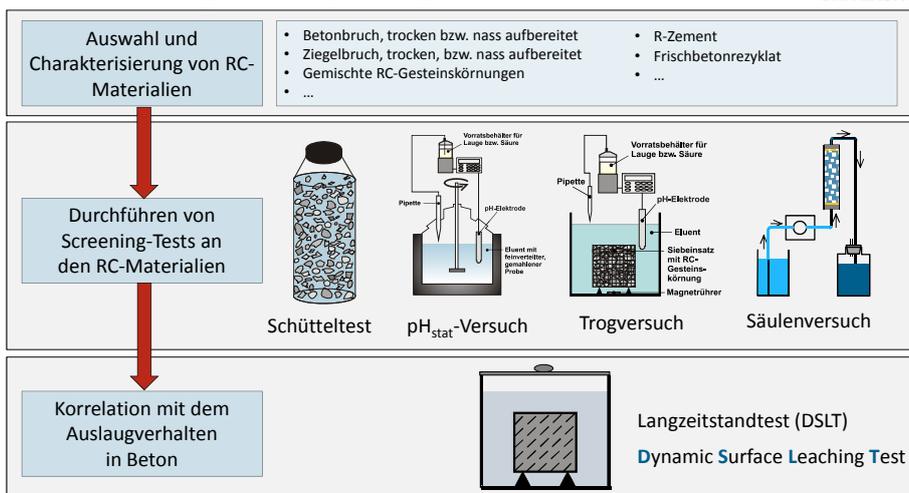


DIN DIN EN 12620
E DIN 4226-101
DIN EN 206 / DIN 1045

DafStb DafStb-Richtlinie Beton mit RC-GK
DafStb-Richtlinie AKR

HEIDELBERGCEMENT Scherer+Kohl ifeu BASF vdz. RWTH AACHEN UNIVERSITY TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit, Dipl.-Ing. Julia Scheidt, Aktuelle Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben R-Beton Weimar, Fachtagung Recycling R'16, 20.09.2016

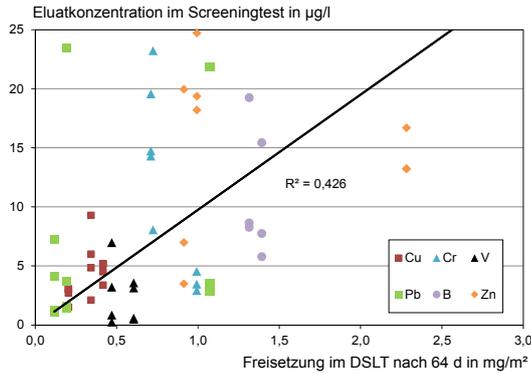
Umweltverträglichkeitsprüfungen



HEIDELBERGCEMENT Scherer+Kohl ifeu BASF vdz. RWTH AACHEN UNIVERSITY TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit, Dipl.-Ing. Julia Scheidt, Aktuelle Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben R-Beton Weimar, Fachtagung Recycling R'16, 20.09.2016

Zusammenfassung und Ergebnisse

Korrelation zwischen den Screening Tests und
Langzeitstandtest



- Hälfte der Untersuchungen abgeschlossen
- Anhand der Daten ist bisher keine parameter- bzw. versuchsspezifische Korrelation zwischen den Screening-Tests und dem Langzeitstandtest (DSL) festzustellen
- Auslaugverhalten von Beton wird maßgeblich vom Bindemittel beeinflusst, nicht jedoch von der eingesetzten Gesteinskörnung

Feine RC-Gesteinskörnung

Z0 und Z2 nach LAGA_M20: 2003

Z2 entspricht dem zugelassenen Höchstwert in rezyklierter Gesteinskörnung für die Anwendung in Beton nach E DIN 4226 Umweltanforderungen und Liefertypen (gemäß DIN EN 12620)

pH-Wert	Z0	Z2	Chrom _{ges}	Z0	Z2
elektr. Leitfähig.	Z0	Z2	Kupfer	Z0	Z2
Chlorid	Z0	Z2	Nickel	Z0	Z2
Sulfat	Z0	Z2	Quecksilber	Z0	Z2
Arsen	Z0	Z2	Zink	Z0	Z2
Blei	Z0	Z2	Phenolindex	Z0	Z2
Cadmium	Z0	Z2	pH-Wert	Z0	Z2

Feine RC-Gesteinskörnung

Z0 und Z2
nach LAGA_M20:
2003

S₁, AS_{0,8}, gefordert
nach DAfStb_2010

KW	Z0	Z2	Gesamt-Schwefel	S ₁	✓	
PAK nach EPA	Z0	Z2	säurelös. Sulfate ¹	AS _{0,2}	✗	
EOX	Z0	Z2	wasserlös. Sulfate ²	SS _{0,2}	✗	
PCB	Z0	Z2	wasserlös. Chloride	max. 0,042	SS _{0,7}	✓

Grobe RC-Gesteinskörnung

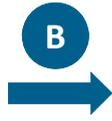
Keine Überschreitungen der
Grenzwerte nach E DIN 4226-101



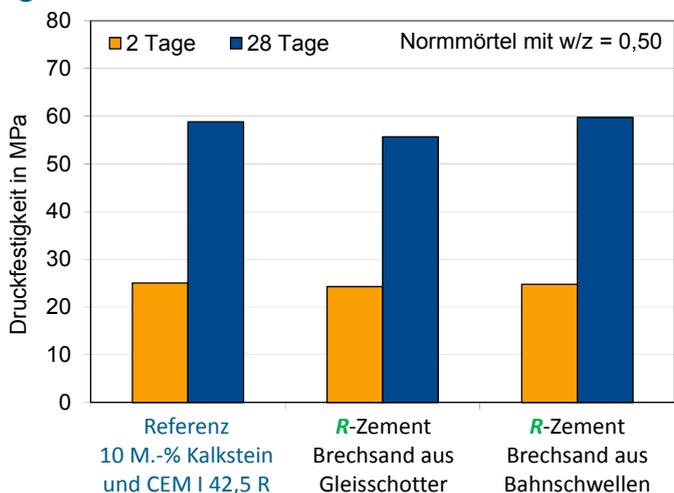
¹ AS_{0,8} = max. 0,8 M.%; B 0/3 T_L2 = 1,35 M.%, M 0/3 N_L2 = 0,97 M.%;
² SS_{0,2} = max. 0,2 M.%; M 0/3 T_L2 = 0,29 M.%, N_L2 = 0,46 M.%



- A: Verwendung im Beton
- B: Verwendung im Zement
 - Nebenbestandteil (< 5 %)
 - Hauptbestandteil (> 10 %)

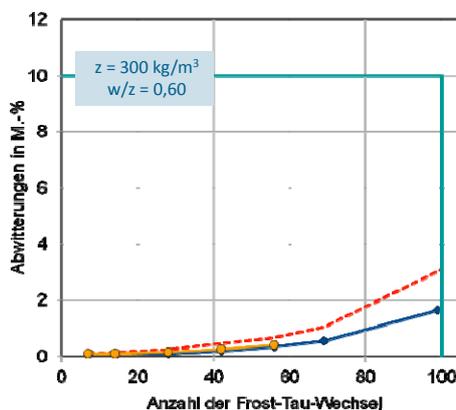


Eigenschaften der R-Zemente mit 10 M.-% Brechsandmehl



R-Zemente mit 10 M.-% grob gemahlenem Brechsand 0/4 aus trockener Aufbereitung sowie CEM I 42,5 R

Betonuntersuchungen Frost-Tau-Widerstand Würfelverfahren



	$f_{c,28d}$
Referenzzement 10 M.-% Kalkstein und CEM I 42,5 R	40,1 MPa
R-Zement mit Brechsand aus Gleisschotter	40,6 MPa
R-Zement mit Brechsand aus Bahnschwellen	37,7 MPa

R-Zemente mit 10 M.-% grob gemahlenem Brechsand 0/4 aus trockener Aufbereitung sowie CEM I 42,5 R

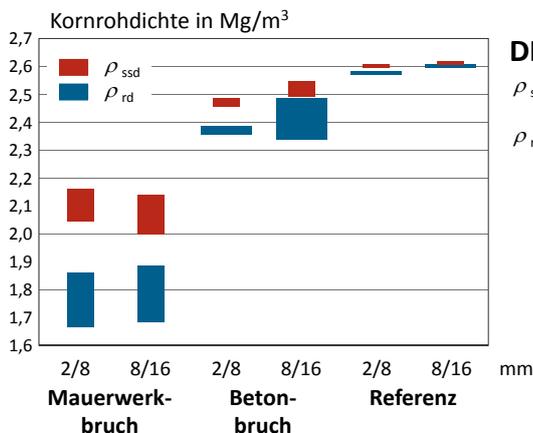


Untersuchungen stehen noch aus

- A: Verwendung im Beton
- B: Verwendung im Zement
 - Nebenbestandteil (< 5 %)
 - Hauptbestandteil (> 10 %)

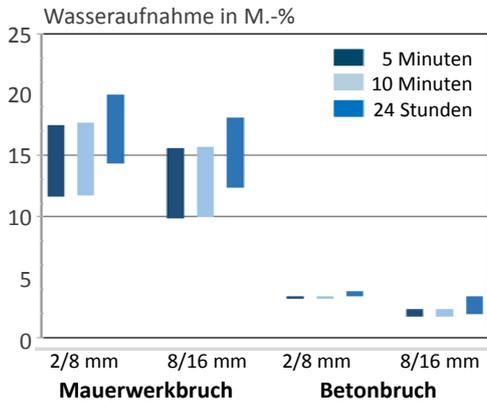


Streubereich der Kornrohichte von rezyklierter grober Gesteinskörnung



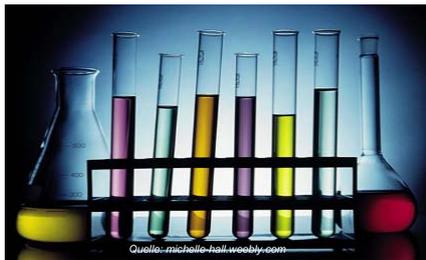
DIN EN 1097-6
 ρ_{ssd} Rohdichte auf wassergesättigter und oberflächentrockener Basis
 ρ_{rd} Rohdichte auf ofentrockener Basis

Streubereich der Wasseraufnahme von rezykliertem grober Gesteinskörnung



DIN EN 1097-6

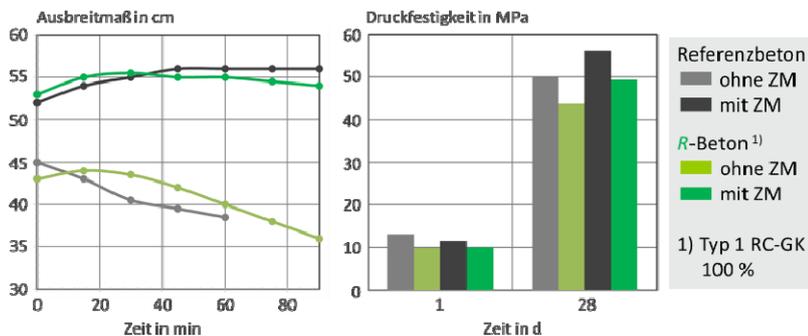
- Schwankungen müssen über die Betontechnologie kompensiert werden
- Kornrohdichte und Wasseraufnahme der RC-Gesteinskörnung muss berücksichtigt werden
- Erfordert abgestimmtes Handling bei der Betonherstellung



- A: R-Zusatzmittel
- B: Reduzierung der Wasseraufnahme der RC-GK

- Konsistenzhaltung über die Zeit (TB-Anwendung)
- Wechselwirkungen

Neue(s) hochleistungsfähige Zusatzmittel für R-Beton Ausbreitmaß $f(t)$ und Druckfestigkeit



- Vergleichbare Dosierung führt zu fast gleichem zeitlichem Ausbreitmaß
- Konsistenz über 90 Minuten stabil
- Druckfestigkeit durch Zusatzmitteleinsatz leicht gesteigert



Zusatzmittel zur Verringerung der Wasseraufnahme



DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“ (2010/09)

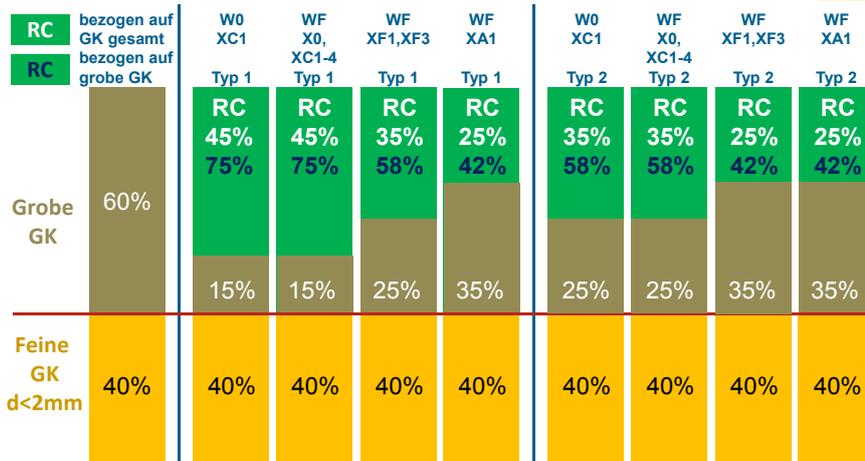


Tabelle 5 – Zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen > 2 mm, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (Vol.-%)

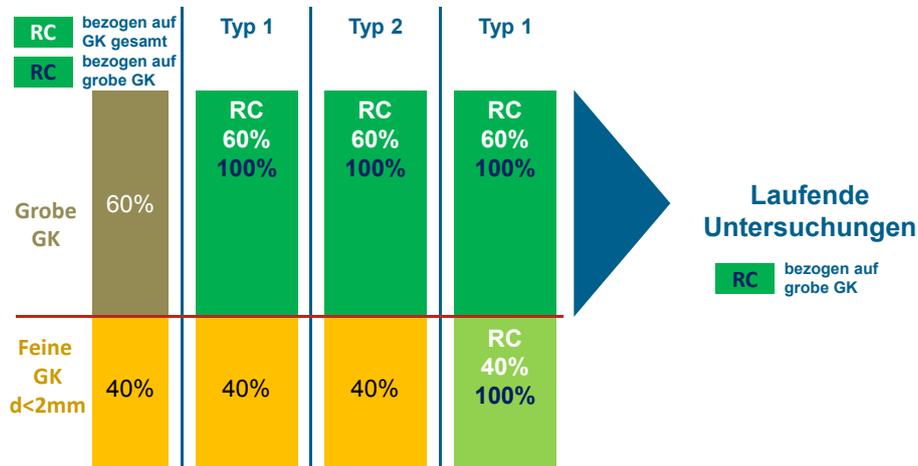
Spalte	Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
	1	2	3	4
Zeile	Alkalirichtlinie	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2	Typ 1	Typ 2
1	WO (trocken)	Karbonatisierung XC1	≤ 45	≤ 35
2	WF ⁹⁾ (feucht)	Kein Korrosionsrisiko X0 Karbonatisierung XC1 bis XC4		
3		Frostangriff ohne Taumittelnwirkung XF1 ⁹⁾ und XF3 ⁹⁾ und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤ 35	≤ 25
4		Chemischer Angriff (XA1)	≤ 25	≤ 25

⁹⁾ zusätzliche Anforderungen s. Abschnitt 1, (3) und (4).

DAfStb-Richtlinie „Beton mit RC-Gesteinskörnung“



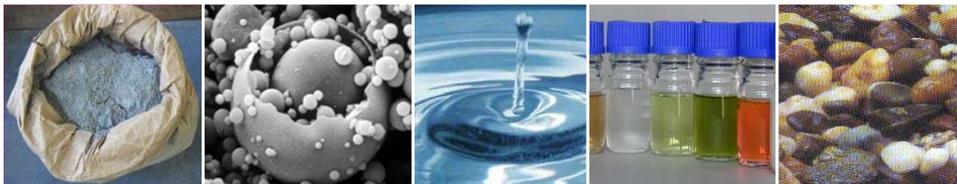
Ziel des BMBF-Forschungsvorhabens **R-Beton**



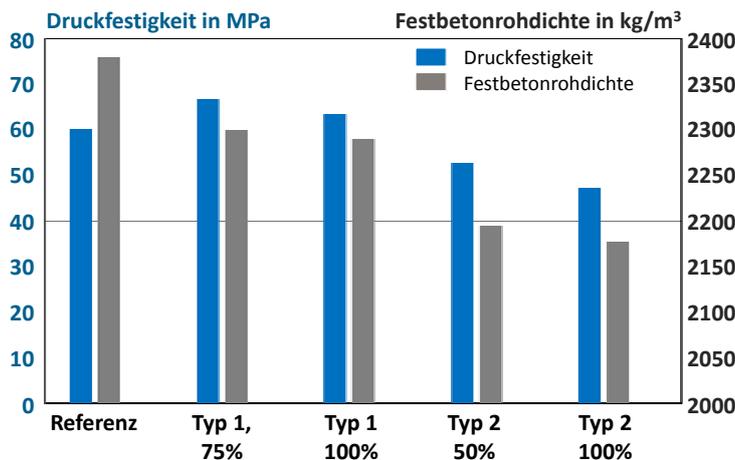
- Erhöhte Anteile RC-GK > 2 mm im Beton (Typ 1 und Typ 2)
- Bemessungsansätze nach Eurocode 2
- Festigkeitsklasse bis C 50/60
- Verwendung RC-GK < 2 mm

- Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten von RC-GK bezüglich **Zusammensetzung, Einsatzmengen und Betonfestigkeitsklassen**

Basis/Ausgangs Betonzusammensetzung



- 300 kg/m³ CEM II/B-S 42,5 N
- 107 kg/m³ Flugasche
- 189 kg/m³ Wasser
- w/b = 0,55
- Rheinsand 0/2 mm
- Größtkorn 16 mm
- Zusatzmittel
- Zielkonsistenz F4 mit FM über 90 Minuten



Mit der Mischung kann praktisch der gesamte normalfeste Beton abgedeckt werden, nach unten und oben hinsichtlich Konsistenz und Druckfestigkeit genügend Spielraum. ✓

RC Typ 1
100 % Ersatz grobe GK

Übersicht Festigkeiten Typ 1



90 % BS



10 % MWS

Festigkeit (Prüfalter)	X _k (5 %-Quantilwert)	V _x (Variationskoeffizient)	n (Anzahl Probekörper)
Druckfestigkeiten [MPa]			
Würfel (28d)	58,3	2,42%	30
Würfel nass (28d)	56,2	2,24%	27
Zylinder (31d)	50,0	2,48%	30
Spaltzugfestigkeiten [MPa]			
Zylinder (28d)	3,0	8,46%	15
Zylinder (29d)	3,1	6,75%	15
Biegezugfestigkeit [MPa]			
Balken (28d)	2,6	17,11%	6
E-Modul [MPa]			
Zylinder (28d)	27.200	1,80%	15
Zylinder (29d)	27.800	3,79%	15

RC Typ 1
100 % Ersatz grobe GK

Übersicht Festigkeiten Typ 1



90 % BS



10 % MWS

Festigkeit (Prüfalter)	X _k (5 %-Quantilwert)	V _x (Variationskoeffizient)	n (Anzahl Probekörper)
Druckfestigkeiten [MPa]			
Würfel (28d)	58,3	2,42%	30
Würfel nass (28d)	56,2	2,24%	27
Zylinder (31d)	50,0	2,48%	30
Spaltzugfestigkeiten [MPa]			
Zylinder (28d)	Eurocode 2: $V_x \leq 15\%$ (für Druckfestigkeit) → Vorgabe aus Norm erfüllt!		
Zylinder (29d)			
Biegezugfestigkeit [MPa]			
Balken (28d)	2,6	17,11%	6
E-Modul [MPa]			
Zylinder (28d)	27.200	1,80%	15
Zylinder (29d)	27.800	3,79%	15

RC Typ 1
100 % Ersatz grobe GK

Übersicht Festigkeiten Typ 1



90 % BS



10 % MWS

Festigkeit (Prüfalter)	X_k (5 %-Quantilwert)	V_x (Variationskoeffizient)	n (Anzahl Probekörper)
Druckfestigkeiten [MPa]			
Würfel (28d)	58,3	2,42%	30
Würfel nass (28d)	56,2	2,24%	27
Zylinder (31d)	50,0	2,48%	30

Druckfestigkeit: Würfel – Zylinder

$$\alpha_{cc} * f_{ck,cube} = 0,85 * f_{ck,cyl} \quad \text{EC 2 3.1.2 (3)}$$

$$\frac{f_{ck,cyl}}{f_{ck,cube}} = \frac{50,0 \text{ N/mm}^2}{58,3 \text{ N/mm}^2} = 0,858$$



RC Typ 1
100 % Ersatz grobe GK

RC Typ 2
100 % Ersatz grobe GK



90 % BS



10 % MWS

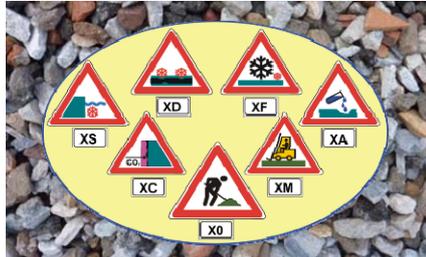


70 % BS



30 % MWS

- Anforderungen nach EC 2 werden bezüglich der Druckfestigkeit bei 100 % Ersatz der groben GK für Typ 1 und Typ 2 erfüllt.
- E-Modul ist zu prüfen



- Untersuchungen zu
 - Carbonatisierung
 - Chlorideindringung
 - Frost- und Frost-Tausalz Widerstand
 - Säurewiderstand

➔ Untersuchungen laufen

- Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten von RC-GK bezüglich der **Expositionsklassen**



- Weitere Optimierung der Aufbereitungsanlage
- Abstimmung des Handlings von RC-Gesteinskörnung für Transportbeton
- Beton mit 100% RC-Gesteinskörnung bezogen auf gesamte Gesteinskörnung (100 % grobe und 100 % feine Gesteinskörnung)
- Dauerhaftigkeitsuntersuchungen
- Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)
- Bemessung nach EC 2 (Querkraftversuche, Pull out Versuche, ...)
- Ökobilanzierung
- ggf. Vorschläge für Regelwerksänderungen